

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 240 828**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.07.2002 PCT/DK2002/00506**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.0003 WO03008800**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2002 E 02787103 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **05.04.2017 EP 1417409**

54 Título: **Pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

19.07.2001 DK 200101125
01.02.2002 GB 0202401

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
29.08.2017

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

GUNNESKOV, OLE;
BARLOW, NICHOLAS DUDLEY;
HANCOCK, MARK y
VRONSKY, TOMAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 240 828 T5

DESCRIPCIÓN

Pala de turbina eólica

La presente invención se refiere a una pala para turbinas eólicas, en esa pala la capa periférica de la sección transversal de la pala.

5 **Antecedentes de la invención**

Las palas de las turbinas eólicas se fabrican hoy día de tal manera que comprenden una viga interior central de soporte, comúnmente de una sección transversal cuadrada, hueca, y fabricado de un material compuesto de fibra de vidrio y resina, rodeado de dos coberturas que forman la superficie exterior superior e inferior de la pala y determinan las propiedades aerodinámicas de la misma.

10 Las coberturas pueden ser de una sola capa o al menos a lo largo de una parte de la circunferencia puede ser de una construcción intercalada que comprende dos capas paralelas de fibras de vidrio y resina que tienen un espacio intermedio que está relleno de, por ejemplo, una espuma de poliuretano. Es bien conocido en la técnica el uso de un material de madera para reforzar el lado interior de una cobertura de una sola capa o para rellenar el espacio de una construcción intercalada.

15 Se comprende claramente que las fuerzas y el par aumentan escalonadamente con la longitud creciente de las palas y que la resistencia y rigidez de la viga central deberá aumentar escalonadamente igual que para las palas conocidas, ya que las coberturas solo contribuyen en menor medida a las propiedades de soporte global de la carga de la pala.

20 Para que la cobertura soporte una parte sustancial de las fuerzas de la viga interior, las estructuras descritas anteriormente que están reforzadas con un material de madera requieren para una mayor dimensión de las palas, un grosor de la capa de madera que incrementaría el peso de la pala significativamente, originando así un incremento de las tensiones para la pala.

25 El documento de patente US 5.375.324 divulga una pala de un compuesto fabricada por pultrusión para un eje vertical tipo Darrieus. También se divulga un procedimiento para fabricar dicha pala. La pala es una estructura de compuesto con una sección transversal uniforme con fibras de refuerzo de las que al menos algunas de las cuales se extienden paralelamente a un eje central longitudinal y transcurren continuamente de extremo a extremo. La pala de compuesto está fabricada por pultrusión de forma recta, y tras la instalación la pala se dobla elásticamente conformando una curva.

30 El documento de patente US 4.643.647 divulga una pala de perfil aerodinámico, tipo ventilador propulsor, hueca que está provista con unas ranuras que se extienden entre sus partes de raíz y punta. Las ranuras contienen filamentos que están comprendidos dentro de un material con matriz de resina y que están anclados a las partes de raíz y punta. Los filamentos se disponen de tal manera que tienen la suficiente resistencia para contener cualquiera de las partes aerodinámicas de la pala en el caso de cualquier tipo de fallo estructural de la misma.

35 El documento de patente US 4.474.536 divulga unas palas de turbina eólicas huecas y similares, que comprenden unas secciones de apoyo de la pala, con unas bandas que conforman una parte saliente y unas paredes de convergencia que conforman una sección de cola conectada con los extremos de las bandas que conforman una parte saliente, y un procedimiento de fabricación, que comprende el mecanizado de las paredes del extremo frontal de las secciones de apoyo de la pala para proporcionar una alineación precisa de las mismas, proporcionando una unión enrasada cuando las secciones se apoyan entre sí, ensamblando las secciones de la pala mediante adhesivo en una relación de apoyo y permitiendo que cure el ensamblaje, cortando unas ranuras receptoras de empalmes de comunicación en las bandas que conforman una parte saliente, e insertando mediante un adhesivo inserciones de empalme que ajustan las ranuras dentro de dichas ranuras.

45 Es el objeto de la invención proporcionar una pala de una turbina eólica que tenga propiedades de productos laminados, es decir, una alta resistencia en comparación con la cantidad de material y bajos costes de producción en comparación con los productos sólidos, pero en la que la resistencia en comparación con los costes de fabricación de la pala se incrementará en gran medida en comparación con otras palas de la técnica anterior.

Descripción de la invención

Este objeto se obtiene mediante una pala de acuerdo con la reivindicación 1.

50 Con el término "una parte longitudinal sustancial" se entiende una parte que se extiende sobre al menos un tercio de la longitud total de la pala desde la punta hasta el buje, preferentemente sobre al menos la mitad de la longitud total de la pala. De acuerdo con una realización preferente, del 60 al 85 % de la longitud total, tal como aproximadamente el 70 %, comprende dicha capa.

De esta manera, pueden obtenerse las propiedades óptimas del material combinando distintos tipos de bandas, tales como unas bandas compuestas de fibras fabricadas por pultrusión que comprenden distintas fibras, tales como

fibras de carbono, fibras de vidrio y/o fibras naturales, banda de madera, bandas de compuesta conformadas como tubos huecos, etc. Cada uno de los tipos de bandas son mucho más simples y, por lo tanto, más baratos de fabricar que para conformar una pala completa y las bandas pueden estar unidas por unos procedimientos apropiados, tales como por inyección de una resina o por una infusión de resina al vacío.

5 De acuerdo con la invención, se puede obtener una pala de turbina eólica, que reduce las fuerzas y el par sobre la viga interior. Además, la resistencia contra las fuerzas de tracción y compresión en una capa cerca de la periferia exterior de la cobertura proporciona a la pala una eficacia estructural mejorada con respecto a un modo de flexión lateral.

10 Al menos algunas de las bandas pre-fabricadas se fabrican de un material compuesto de fibras fabricadas por pultrusión tales como resina de carbono.

De esta manera, se obtiene una construcción con una rigidez excelente, pero que no es propensa a combarse. Así, la estructura interior de la pala puede fabricarse de una construcción más ligera, por ejemplo, sustituyendo la viga interior comúnmente usada de una sección transversal cuadrada por dos mallas más ligeras situadas en el borde de ataque y en el borde de salida, respectivamente.

15 En una realización preferente, la capa periférica puede ensamblarse inyectando una resina o por una infusión de resina al vacío. El uso de una infusión de resina conduce a un procedimiento de fabricación rápido, saludable y seguro, no dejando ningún hueco en la resina, o solamente unos pocos. Una limitación del número de huecos reduce el acabado posterior. Una muy pequeña cantidad de las fibras de la pala están realmente infundidas. La resina es principalmente una cola en lugar de una matriz. Esto dará como resultado una estructura que es más
20 tolerante a cualquier posible hueco.

De acuerdo con una realización preferente, la pala comprende sobre una parte longitudinal sustancial una capa a lo largo de la periferia exterior de su sección transversal, en la que la capa está constituida, al menos parcialmente, por bandas de un material de madera y bandas de un material compuesto de fibras, en una secuencia alternada a lo largo de la periferia exterior.

25 De esta manera, la excelente rigidez de los materiales compuestos de fibras y la alta resistencia contra el pandeo de los materiales de madera se combinan para lograr una cobertura con unas propiedades adecuadas de una forma efectiva en coste.

30 Al menos algunas bandas se fabrican de un material de madera, preferentemente contrachapado usado como el material de madera, y por unas pultrusiones de fibras naturales, preferentemente pultrusiones de fibras de carbono, como el material compuesto fibroso.

35 Las ventajas obtenidas por esta realización son que los materiales son compatibles y que ambos tienen unos bajos coeficientes de expansión térmica. Ambos tipos de material trabajan en un bajo intervalo similar de tensiones dando como resultado la posibilidad de usar unas palas más rígidas en comparación con el peso de las palas. También, las fibras naturales pueden ser propensas al pandeo y, aunque la madera es voluminosa, la madera no es propensa a combarse, así también por ello, los dos tipos de material son muy complementarios.

40 Las bandas pueden, por lo general, fabricarse de madera, madera laminada, pultrusiones de cualquier tipo de fibra artificial o natural, con cualquier resina, termoestable, termoplástica, artificial o derivada naturalmente, de plásticos de espuma, de materiales de núcleo ligero. En cualquier proporción. Al menos algunas de las bandas pre-fabricadas se forman ventajosamente de un material compuesto fibroso. Las fibras del material fibroso pueden ser cualquier fibra conocida, que tenga propiedades adecuadas para reforzar el compuesto de madera, tales como fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras de Kevlar, fibras naturales, por ejemplo, de cáñamo o lino, fibras de coco, etc., o cualquier combinación de las mismas.

45 Como un ejemplo, el carbono tiene una mayor resistencia al fallo que la madera. El carbono actúa como un aditivo de rigidez pero la madera falla primero. Esto se ha aprovechado en los ensayos de muestras para probar, por separado, la resistencia del carbono y de la madera. Añadiendo carbono y, de esta manera, la posibilidad de usar unos revestimientos más finos, se pueden reducir los márgenes de pandeo del revestimiento.

50 Las fibras de carbono son relativamente caras, sin embargo, la madera es barata y puede cubrir el área de la pala incurriendo en costos muy bajos. Sin embargo, la madera por sí misma, produce unos revestimientos gruesos ineficaces en las palas de altas tensiones. Las fibras de carbono combinadas con la madera pueden producir unos revestimientos más finos, que son estructuralmente eficaces y satisfactorios. También, la madera es altamente tolerante a los defectos. El porcentaje del área en sección transversal total de la cobertura compuesta de un material compuesto de fibras, está preferentemente dentro del intervalo del 3 % al 30 %, en la parte de la pala que tiene un contenido más alto de material fibroso, más preferentemente, comprendido dentro del intervalo del 6 % al 20 %.

55 Igualmente, el área total de la sección transversal de la cobertura compuesta de fibras está comprendida, preferentemente, dentro del intervalo del 2 % al 20 %, más preferentemente, dentro del intervalo del 4 % al 15 %.

En una realización particularmente preferente de la presente invención, al menos algunas de las bandas están constituidas por unos tubos huecos formados a partir de un material compuesto de fibras. De esta manera, se ahorra material y peso mientras se preservan unas propiedades estructurales ventajosas.

5 Por lo menos algunas de las bandas del material compuesto de fibras son, preferentemente, unas pultrusiones, es decir, unas bandas fabricadas por pultrusión de una mezcla de fibras y de un material de matriz que se cura después de la pultrusión, tal como una resina procesable, por ejemplo, éster de vinilo. De esta manera, se obtiene una banda que tiene unas fibras rectas y un bajo contenido de huecos. Se puede obtener también un bajo contenido de resina que induce a un pequeño encogimiento y a un curado rápido.

10 Por lo tanto, es ventajoso que las pultrusiones tengan una dirección de pultrusión sustancialmente alineada con una dirección longitudinal de la pala, en cuya dirección se requieran las propiedades de las fibras. Sin embargo, las juntas de terminación de pultrusión son productoras de tensiones, de manera que se da una atención particular a éstas en los ensayos de elementos estructurales.

15 El material compuesto de fibras comprende, ventajosamente, una fracción del volumen de la fibra del 50 % al 90 %, preferentemente, del 60 % al 80 %. Particularmente, el material compuesto fibroso puede comprender una fracción del volumen de fibra de carbono del 50 % al 90 %, preferentemente, del 60 % al 80 %.

20 Al menos algunas bandas pre-fabricadas se fabrican de un material de madera ya que los materiales de madera son de bajo costo y de peso ligero, y las propiedades materiales del material de madera pueden completarse para formar las propiedades del material de la pala requeridas, combinándolo con unas bandas de otros tipos de materiales, tales como unos materiales compuestos de fibras. El material de madera puede ser unas bandas de madera, que si es necesario, se ensamblan entre sí mediante un adhesivo en la dirección longitudinal de la pala.

25 Una realización preferente emplea contrachapado, particularmente contrachapado unidireccional como el material de madera debido a las propiedades homogéneas del material. Otro tipo de material de madera que puede emplearse está compuesto por unas fibras de madera mantenidas en una resina curada. La madera ve las mismas tensiones directas, de manera que es posible usar nuevos patrones y adhesivos de montaje que utilicen unos diseños establecidos disponibles y que sigan gozando de la confianza de la estructura del material de madera.

30 La capa está al menos parcialmente constituida por bandas de un material de madera y por unas bandas de un material compuesto de fibras, que están situadas en una secuencia a lo largo de la periferia exterior. Preferentemente, la secuencia puede ser una secuencia alternativa de bandas de un material de madera y de bandas de un material compuesto de fibras. Preferentemente, la secuencia alternativa se distribuye solamente sobre una parte de la periferia total de la pala.

Es ventajoso que la capa anteriormente expuesta sea parte de una construcción intercalada según se ha descrito anteriormente, es decir, que está comprendida dentro de una cobertura exterior y de una cobertura interior fabricadas de un material compuesto de fibras, tal como la malla de fibras de vidrio mantenida por una resina sintética curada.

35 Tipos de muestras:

Mini-vigas - 1 viga de 2,5 m de largo x 150 mm x 150 mm (pestañas de 25 mm de grosor) con unos revestimientos de media escala. Que incluye unas terminaciones por pultrusión, defectos, juntas de madera.

40 *Plano aerodinámico de 6 m x 1,2 m* - Tipo A diseñado para fallo ante sobretensiones directas, revestimientos de ensayo, juntas de borde de ataque y salida. Tipo B, una muestra con unos revestimientos relativamente finos para investigaciones de pandeo.

Pala de 31 m - Una pala fabricada en el molde A131 con las mismas fijaciones de la base que la del AL40 (fijaciones 72xM30), con unos revestimientos fabricados con una distribución similar de madera y carbono que la AL40, dobles mallas y una junta de borde de ataque similar.

<i>Ensayo Estructural del Elemento</i>		
<i>Elemento</i>	<i>Ensayo</i>	<i>Probando</i>
Mini-vigas	flexión estática en 3 puntos	Resistencia de los revestimientos, juntas en madera y terminaciones de pultrusión
Plano aerodinámico 6m "A". Revestimientos gruesos	flexión estática en 4 puntos	Junta borde de ataque, mallas y juntas en los revestimientos
Plano aerodinámico 6m "B". Revestimientos finos	flexión estática en 4 puntos	Teoría del pandeo con revestimientos curvos
Pala de 31m	Flexión estática en voladizo en borde	Rigidez, frecuencia, amortiguación, (carga a 1,35 de tensión máx. como AL40, distribución como A131)

ES 2 240 828 T5

(continuación)

<i>Ensayo Estructural del Elemento</i>		
<i>Elemento</i>	<i>Ensayo</i>	<i>Probando</i>
	Flexión estática en voladizo en plano	Como el lateral anterior pero de tensión máx. 1,5 como AL40, distribución como A131. Flexión anillo de refuerzo (extensiométrico)
	Fatiga por flexión en voladizo en plano	Régimen de fatiga acelerado. Programado a 1 millón de ciclos para simular el ciclo de tensiones en la vida del A140
	En plano estático hasta el fallo	Modo de fallo y límites
	Estirado y fatiga estática de fijación a la raíz	Confirmación de los márgenes de resistencia de la fijación a la raíz

<i>Ensayo de la Pala de 40 m</i>	
Flexión estática en voladizo en borde	Rigidez, frecuencia, amortiguación, prueba de carga hasta 1,35 extrema
Flexión estática en voladizo en plano	Según el borde anterior la prueba de carga hasta 1,35 extrema. Flexión del anillo de refuerzo (extensiométrico)
Fatiga por flexión en voladizo en plano	Régimen de fatiga. Programado a 5 millones de ciclos equivalente a la vida con un factor de carga de 1,35
Fatiga por flexión en voladizo en borde	Régimen de fatiga. Programado a 5 millones de ciclos equivalente a la vida con un factor de carga de 1,35
En plano estático hasta el fallo	Modo de fallo y límites

<i>Ensayo Individual Especial</i>		
<i>Material</i>	<i>Ensayo</i>	<i>Probando</i>
Pultrusión de carbono	Ensayo CRAG de tensión/compresión estática y fatiga	Márgenes de carbono muy altos
Madera	muestra tipo AL tensión/compresión estática y de fatiga	Las juntas de madera cumplen tan bien o mejor que los tipos
Carbono con madera	Ensayo madera estándar de compresión estática	El carbono trabaja tal como predicho con la madera en tensión de compresión de resistencia más baja.

5 La invención puede incorporar un sistema de protección contra rayos que comprende dos atrayentes de rayos posiblemente sustituibles, preferentemente próximos a la punta. Uno de atrayentes de rayos se coloca en el lado contrario al viento y el otro atrayente de rayos está situado en el lado del viento. Los dos están conectados a un ancho de una malla de aluminio o material similar, que se extiende sobre el área reforzada de fibras situada debajo de la capa superficial del revestimiento de gel de la pala y que pasa por debajo de la raíz de la pala, en donde se conecta a tierra.

10 Puede infundirse opcionalmente un medio de absorción de radiofrecuencias, por ejemplo, una señal de radar, con el resto de la estructura. Es posible también embeber unas fibras ópticas en la pala, ya sea de una manera adicional a las fibras de refuerzo o en sustitución de dichas fibras de refuerzo. Las fibras ópticas pueden ser usadas para medir las cargas sobre y dentro de la superficie de la pala durante el funcionamiento de la turbina eólica.

15 Alternativamente, las mediciones de la resistencia de las fibras de carbono pueden usarse para medir las cargas sobre o dentro de la superficie de la pala. También, las fibras de carbono usadas para medir dichas cargas pueden ser una o más de las fibras de refuerzo o bien pueden ser unas fibras de carbono adicionales a las fibras de refuerzo y dedicadas a medir estas cargas.

Breve descripción de los dibujos

20 Una realización preferente de la presente invención se muestra en los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una sección transversal de una pala compuesta de unas bandas de contrachapado situadas en una secuencia alternada con unas bandas de fibras por pultrusión,

la Figura 2a es una sección transversal de una pala similar a la pala de la Figura 1, que tiene una distribución distinta a lo largo de la periferia de las partes con las bandas por pultrusión,

la Figura 2b muestra una vista en planta de una pala similar a la de la pala mostrada en la sección transversal de la Figura 2a, teniendo así una distribución similar a lo largo de la periferia de las partes con las bandas por pultrusión,

la Figura 2c es una fotografía de la superficie de la pala de la Figura 2a, con la cobertura exterior de un material compuesto retirada, y

la Figura 3 ilustra el procedimiento de la infusión de resina al vacío.

Descripción detallada de la invención

La pala mostrada en la sección transversal de la Figura 1 tiene una capa compuesta de unas bandas de contrachapado de abedul 1 de 40 x 40 milímetros, que están situadas en una secuencia alternada con unas bandas de una pultrusión de fibras de carbono 2 de 6 x 40 milímetros. La capa 1, 2 se extiende a lo largo de la parte central de la pala entre dos soportes en forma de C 3, 4 formados por una malla de fibras de vidrio y de un compuesto de resina sintética, designando Malla 3 del LE (borde de ataque) y el Malla 4 del TE (borde de salida) y que sustituye al soporte interior central descrito anteriormente. La capa 1, 2 está intercalada entre una capa interior 5 y una capa exterior 6 compuestas por unos revestimientos de vidrio epoxi que soportan una fuerza cortante y favorecen la rigidez transversal de la pala. El espacio definido entre la cobertura superior e inferior constituido de esta manera por el contrachapado de abedul 1 y por la pultrusión de fibras de carbono 2, y la Malla 3 del LE y la Malla 4 del TE, está relleno de un núcleo de madera de balsa 7.

Las palas mostradas en las Figuras 2a, 2b y 2c son similares a la mostrada en la Figura 1, exceptuando que el refuerzo de las pultrusiones de fibras de carbono 2 están situadas cerca de las áreas de contacto entre la cobertura superior e inferior y la Malla 3 del LE 3 y la Malla 4 del TE, en donde la concentración de la tensión es mayor. En la realización mostrada, se usa una malla doble en vez de una malla única. Esto es para dar un margen de flexión suficiente sobre los revestimientos durante la compresión. También, la malla frontal reduce la carga de corte de la junta del borde de ataque, permitiendo un área de la junta del borde de ataque más pequeña. Esto es ventajoso durante la fabricación de la pala.

La tecnología es ventajosa porque la adición de unas pultrusiones de fibras a una construcción de madera favorece la rigidez de la construcción. Las pultrusiones de fibras de carbono no se usan a lo largo de toda la longitud de la pala sino solamente en un 70 % medio en donde se requiere por las tensiones. La sección transversal del revestimiento de la pala puede ser de hasta el 10 % del área de las pultrusiones de fibras de carbono en las regiones afectadas con unas tensiones más altas, dispersas a través de todo el compuesto de madera en la realización mostrada. Los revestimientos comprenden normalmente el 60 % del grosor de los revestimientos de la pala compuestos puramente de madera, lo cual reduce el peso y mejora la eficacia de la estructura en el modo de flexión lateral crítico. Los revestimientos de vidrio epoxi, exteriores e interiores, se fabrican de unas fibras de vidrio orientadas más o menos 45 grados respecto a la dirección longitudinal de la pala.

Las pultrusiones tienen la ventaja de garantizar unas fibras rectas y un bajo contenido de huecos en el compuesto de fibra de carbono en sí. Además, las pultrusiones tienen la ventaja de agilizar el procedimiento de infusión de la pala ya que las fibras de carbono finas necesitarían en caso contrario un tiempo más significativo para su infusión. La pultrusión tiene una fracción alta del volumen de las fibras, aproximadamente el 70 %, con una resina de resistencia media pero altamente procesable, por ejemplo, el éster de vinilo. Preferentemente, cuando se fabrica la pala, se suministra la resina con una "capa despegable" situada en los dos lados largos, que se retira para producir una superficie de textura limpia asegurando una buena unión.

El proceso de fabricación de una cobertura de una pala mostrado en la Figura 3, comprende las etapas de aplicar un revestimiento de gel (no mostrado) a un molde 8 seguido por un medio de transferencia 9 tal como una malla de transferencia, de una malla de fibra de vidrio 10 de 45 grados y de un material de epoxi (no mostrado) al molde, para crear el revestimiento exterior de vidrio epoxi. Después, se posiciona la madera y las bandas de pultrusión 1, 2 y se aplica entonces una malla metálica 11 tal como una malla de aluminio para la protección contra los rayos. La cobertura se envuelve entonces en un contenedor, en el procedimiento mostrado consiste en una bolsa de vacío 12, que se vacía a través de un medio exterior 13. Se inyecta entonces la resina desde un depósito de resina 14 a través de unos canales de resina 15 formados entre las bandas adyacentes, desde los que la resina se dispersa a través de toda la construcción impulsada por el vacío. Una resina general usada para la infusión es la Prime 20 de SP Systems. Después de curar la resina, se fabricará entonces un revestimiento de vidrio epoxi 16 en la parte superior de las bandas de madera y de las fabricadas por pultrusión 1, 2.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una pala para una turbina eólica, en la que al menos un tercio de la longitud total, medida desde la punta hasta el buje, de dicha pala comprende una capa (1, 2) a lo largo de una periferia exterior de la sección transversal de dicha pala, **caracterizada porque** la capa (1, 2) está constituida al menos parcialmente por un número de bandas (2) realizadas por pultrusión pre-fabricadas de un material compuesto de fibras y bandas de un material de madera, que se disponen en una secuencia a lo largo de la periferia exterior.
2. Una pala de acuerdo con la reivindicación 1, en la que las bandas de la capa exterior (1, 2) se unen por medio de una infusión de resina.
- 10 3. Una pala de acuerdo con la reivindicación 2, en la que las bandas de la capa exterior (1, 2) se unen por medio de una infusión al vacío de una resina.
4. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que al menos algunas de las bandas (2) realizadas por pultrusión pre-fabricadas están constituidas por unos tubos huecos formados a partir de un material compuesto de fibras.
- 15 5. Una pala de acuerdo con la reivindicación 4, en la que las bandas (2) realizadas por pultrusión tienen una dirección de pultrusión sustancialmente alineada con una dirección longitudinal de la pala.
6. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en la que el material compuesto de fibras comprende una fracción del volumen de fibras desde el 50 por ciento al 90 por ciento.
7. Una pala de acuerdo con la reivindicación 6, en la que el material compuesto de fibras comprende una fracción del volumen de fibras desde el 60 por ciento al 80 por ciento.
- 20 8. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en la que el material compuesto de fibras comprende una fracción del volumen de fibras de carbono desde el 50 por ciento al 90 por ciento.
9. Una pala de acuerdo con la reivindicación 8, en la que el material compuesto de fibras comprende una fracción del volumen de fibras desde el 60 por ciento al 80 por ciento.
- 25 10. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la capa (1, 2) está constituida al menos parcialmente por un número de bandas fabricadas de un material de madera dispuestas en una secuencia a lo largo de la periferia exterior.
11. Una pala de acuerdo con la reivindicación 10, en la que el material de madera es madera contrachapada.
12. Una pala de acuerdo con la reivindicación 10, en la que el material de madera está comprendido por fibras de madera mantenidas en una resina curada.
- 30 13. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en la que la capa (1,2) está constituida al menos parcialmente por bandas de un material de madera y bandas de un material compuesto de fibras, en una secuencia a lo largo de la periferia exterior.
14. Una pala de acuerdo con la reivindicación 13, en la que dicha secuencia es una secuencia alternada de bandas de un material de madera y de bandas de un material compuesto de fibras.
- 35 15. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha capa está encerrada en una cobertura exterior y una cobertura interior fabricadas de un material compuesto de fibras.
16. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que unas fibras de medición de carga están encerradas en una o ambas de la cobertura exterior y de la cobertura interior.
- 40 17. Una pala de acuerdo con la reivindicación 16, en la que las fibras de medición de carga son unas fibras ópticas, que son adicionales a, alternativamente que sustituyen a, las fibras de refuerzo.
18. Una pala de acuerdo con la reivindicación 16, en la que las fibras de medición de carga son unas fibras de carbono, que son adicionales a, que alternativamente sustituyen a, las fibras de refuerzo.
19. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que se incorporan unos medios de protección contra rayos que comprenden unos atrayentes de rayos, dentro de cualquiera o de ambas coberturas.
- 45 20. Una pala de acuerdo con la reivindicación 19, en la que los atrayentes de rayos están conectados a un ancho de malla metálica (11) o material similar que se extiende sobre el área reforzada de fibras de las coberturas.
21. Una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que se incorpora un medio de absorción de radiofrecuencias dentro de una o ambas de las coberturas.

22. Procedimiento de fabricación de una cobertura para una pala de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-21, comprendiendo dicha cobertura un material de capa dispuesto a lo largo de una periferia exterior de la sección transversal de la cobertura, comprendiendo dicha capa unas bandas pre-fabricadas, e implicando dicho procedimiento las etapas siguientes:

- 5 - aplicar un material superficial, preferentemente un revestimiento de gel, a un molde (8) para la pala
- aplicar opcionalmente una malla metálica (11), una malla de fibra de vidrio y cualquier medio de transferencia (9)
- ensamblar al menos dos materiales individuales (1, 2) para constituir las bandas pre-fabricadas
- 10 - seleccionar al menos uno de los al menos dos materiales individuales (1,2) entre unos materiales compuestos de fibras
- posicionar los al menos dos materiales individuales (1,2) sobre los otros materiales (10) aplicados
- insertar los materiales individuales así aplicados y otros materiales dentro de un contenedor (12)
- vaciar el contenedor (12), infundir una resina de curado y permitir que la resina cure, y
- desmoldar la cobertura desde el molde así fabricado.
- 15

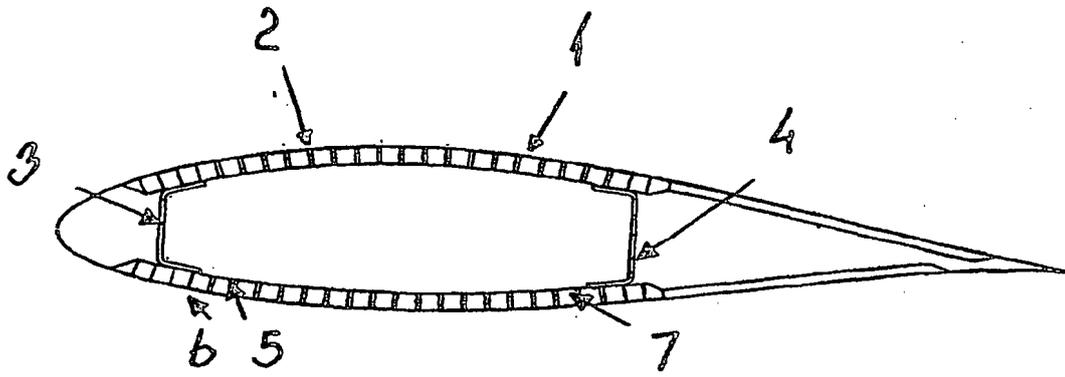


Fig. 1

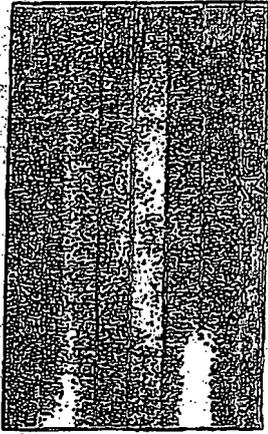


Fig. 2A

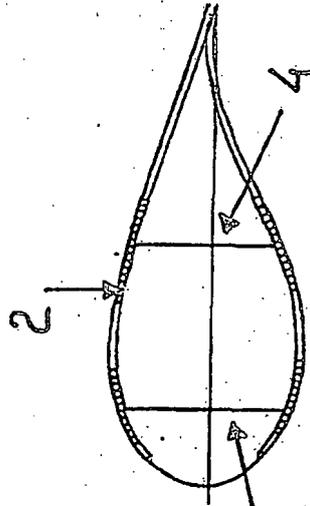


Fig. 2B

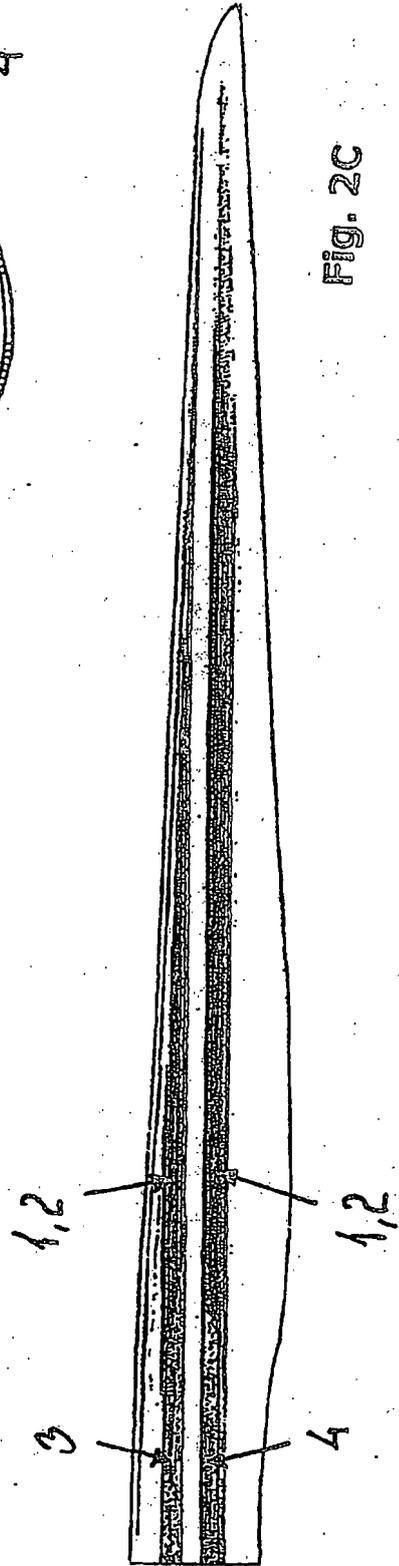


Fig. 2C

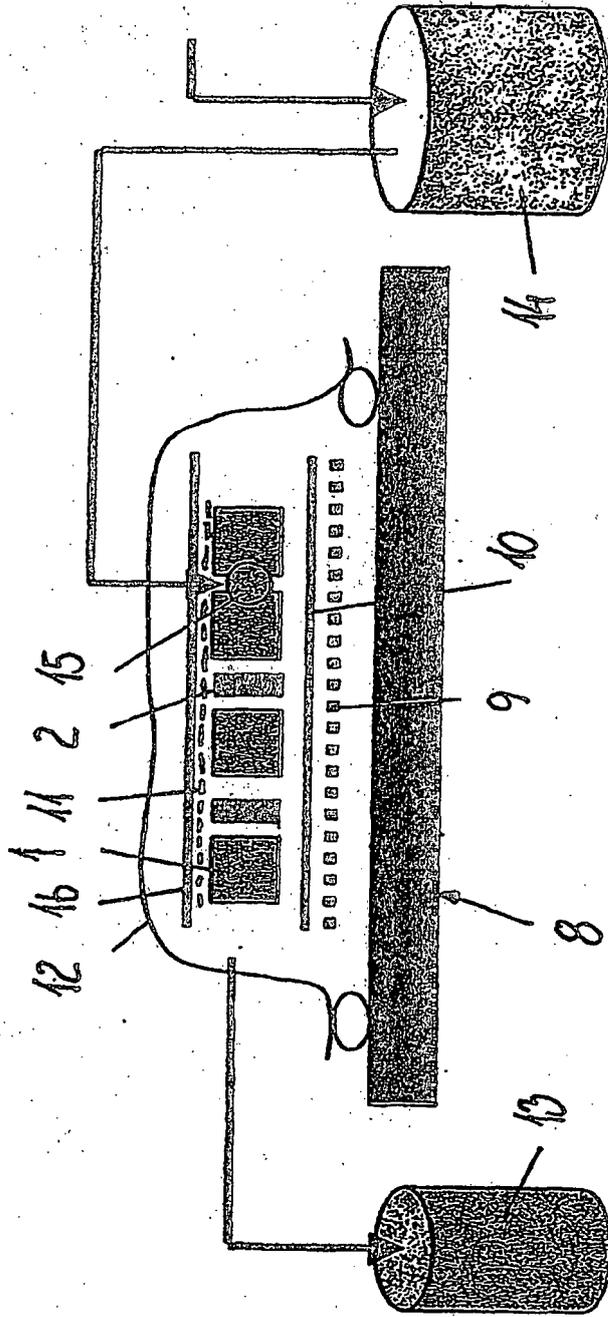


FIG. 3